

기준점 배치에 따른 궤도기반 센서모델의 정확도 분석

Accuracy analysis of the Orbit-based Sensor Modeling with various GCP configurations

김동욱, 김현숙, 김태정
인하대학교 영상공학연구소

Dong Wook Kim, Hyun Suk Kim, Tae Jung Kim
Image Engineering lab, INHA University

요약 : 본 연구에서는 SPOT-3 인공위성 영상으로부터 얻어진 영상 스테레오 스트립과 GCP(Ground Control Point)자료를 이용하여 다양한 GCP배치에 따른 궤도기반 센서모델의 정확성에 대해 분석하였다. 실험에 사용된 기준점자료는 춘천지역에서부터 나주지역에 이르기 까지 약 420km 길이의 지역에 대해 GPS측량을 통해 획득하였다. 궤도기반 센서모델에 적용된 미지수는 위성의 위치와 속도, 자세를 표현하는 방정식의 계수를 미지수로 선택하여 일곱 가지 방식으로 조합하였다. 실험은 우선 모델점의 위치를 일곱 가지 경우로 결정하고 각 경우에 대해 일정한 개수의 모델점을 선택하였다. 그리고 각 경우의 모델점의 위치에 대해 궤도기반 센서모델의 미지수 조합 모델을 각각 다르게 적용해 본 후 그 결과를 시각적, 수치적으로 분석해 보았다. 실험 결과 모델점의 위치에 관계없이 궤도기반 모델에 적용할 수 있는 높은 정확도를 나타내는 미지수 조합모델을 찾아낼 수가 있었고, 여러 가지 모델점의 위치를 궤도기반 센서모델에 적용해 본 결과 지리적, 시간적, 경제적 효율성을 갖는 최적의 미지수 조합을 찾을 수가 있었다.

핵심용어 : 궤도기반 센서모델, SPOT-3, GCP, GPS, 인공위성

1. 서 론

위성영상에서 제공되는 영상의 공간해상도가 증가함에 따라 위성영상의 위치정보에 대한 관심이 증가하고 있다. 위성영상의 위치 정확도는 센서모델의 정확도에 따라 정해지는데 현재 센서모델에 관한 연구는 전 세계 각 분야에서 활발하게 진행되고 있는 중이다.

센서모델은 모델 수립시 물리적인 파라미터 고려여부에 따라 크게 물리적인 모델과 일반적인 모델로 구분할 수가 있다(김현숙, 김태정, 2006). 물리적인 모델이란 센서의 초점거리, CCD화소의 크기와

같은 센서의 물리적인 파라미터 및 위성 궤도, 자세정보와 같은 위성의 물리적인 파라미터를 사용하여 영상과 지상의 관계를 설명하는 모델이다, 물리적 모델은 위성과 센서에 대한 상세한 정보를 필요로, 하며, 이 정보를 이용해 위성센서와 지표면간의 방향성, 위치 등의 물리적인 혹은 기하학적 관계를 모델링하여 관계식을 세우고 이 관계식의 계수를 추정하는 방식이다. 물리적인 모델을 이용한 대표적인 센서모델링 방법은 외부표정 요소가 센서의 위치에 해당하는 (X_s, Y_s, Z_s) 및 오일러각에 해당하는 ω, ρ, κ 로 표현되는 위치-오일러각 모델(김태정, 2000), 사진 측량 분야에서 전통적으로 쓰이던 식에 기반을

둔 공선방정식 기반 모델(김태정 외, 2000), 궤도-자세 기반 모델(Kim and Dowman, 2006)등이 있다. 일반적인 모델은 영상의 물리적 특성에 입각하여 모델을 세운 것이 아니고 단순히 영상좌표와 지상좌표의 관계를 복잡한 차수의 함수로 모델링한 것이다. 일반적인 모델을 이용한 대표적인 센서모델링 방법에는 지상에서의 한점과 위성영상에서의 한점의 관계를 고차다항식으로 나타낸 RPC모델(Rational Polynomial Coefficients; Jacek Grodecki & Gene Dial, 2003), DLT모델(Direct Linear Transformation; Gupta and Hartley, 1997)등이 있다.

위와 같은 센서 모델을 적용하기 위해서는 다수의 GCP점이 필요하다. 기술의 진보로 인한 영상의 위치 정확도의 향상은 더 높은 GCP의 정확도를 요구하게 되었고, 이런 요구사항을 충족하기 위해서는 직접 현장에 나가서 이전보다 더 많은 시간을 들여 측량을 하는 방법밖에 없었다. 이렇게 직접 현장에 나가 측량을 하게 되면 시간과 경제성에 대한 효율성이 떨어지게 된다. 이런 점을 보완하기 위해서 GCP(기준점)없이 측량하는 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이와 관련해 본 논문에서는 궤도기반 센서모델(김현숙과 김태정, 2006)을 사용해서 최소의 기준점을 사용해 총 420km거리의 Strip 대해 궤도기반모델의 정확도 검증은 수행하였다.

2. 궤도기반 센서모델

궤도기반 센서모델은 공선조건에 기반을 둔 모델로서 인공위성의 물리적인 파라미터를 필요로 하는 모델이다. 이 모델은 인공위성의 자세 제어 방식의 기준이 되는 궤도좌표계와 자세각에 따라 수식(1)과 같은 식으로 표현될 수 있다.

수식(1)의 Parameter들은 다음과 같다. (X_s, Y_s, Z_s) 는 영상의 한점과 대응되는 지

상좌표를 나타내며 (X, Y, Z) 는 위성체의 위치를 나타낸다. (x, y) 는 지상의 한점과 그에 대응되는 영상에서의 좌표를 나타낸다. 그리고 λ 는 비례상수, R_{rpy} 는 인공위성의 자세각인 Roll, Pitch, Yaw각에 의해서 정의되는 회전이동행렬, $R_{P,V}$ 는 위성의 위치벡터 P 및 속도벡터 V에 의해서 정의되는 회전이동행렬로, 궤도좌표계로부터 지상좌표계로의 회전이동행렬을 나타낸다. 수식(1)에서 R_{rpy} 와 $R_{P,V}$ 의 정의는 위성별로 고유하게 정의된 위성의 궤도좌표계 및 자세각에 따라서 다르게 표시된다. SPOT 위성의 경우 R_{rpy} 는 Yaw각, Roll각, Pitch각, 순서로 회전하는 3-2-1 시스템으로 정의되며 아래의 수식(2)와 같이 나타낼 수 있다(SPOT Image, 2002).

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ -f \end{pmatrix} = \lambda \mathbf{R}_{rpy}^T \mathbf{R}_{P,V}^T \begin{pmatrix} X - X_s \\ Y - Y_s \\ Z - Z_s \end{pmatrix}$$

수식 (1)

$$\mathbf{R}_{rpy} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos P & \sin P \\ 0 & -\sin P & \cos P \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos R & 0 & -\sin R \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin R & 0 & \cos R \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \Psi & -\sin \Psi & 0 \\ \sin \Psi & \cos \Psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

수식 (2)

$$\mathbf{R}_{P,V} = \begin{pmatrix} X_x & Y_x & Z_x \\ X_y & Y_y & Z_y \\ X_z & Y_z & Z_z \end{pmatrix}$$

수식 (3)

위 수식에서 R, P, Ψ 는 각각 Roll, Pitch, Yaw각을 나타낸다. 또한 $R_{P,V}$ 는 위성의 위치벡터 방향을 Z축, Z축과 속도벡터의 수직성분을 X축, 나머지 한축을 Y축으로 정의한 SPOT위성의 궤도좌표계의 정의에 따라서 수식(3)과 같이 나타낼 수 있다. (SPOT Image, 2002).

3. 실험 데이터

1) 사용한 영상

본 실험에서는 SPOT위성에서 촬영된 스테레오 스트립을 사용하였다. 촬영된 지역은 춘천, 양평, 천안, 대전, 광주, 나주 지역을 포함하고 있으며, 약 420km상당의 지역을 수초간격으로 연속적으로 촬영한 영상이다.

2) GCP 데이터

GCP점에 대한 모든 데이터는 GPS측량과, DGPS처리를 통해 획득되었다. 실험에 사용된 GCP는 왼쪽 스트립 영상에 대해 총 152개, 오른쪽 스트립 영상에 대해 총 149의 GCP를 사용하였다.

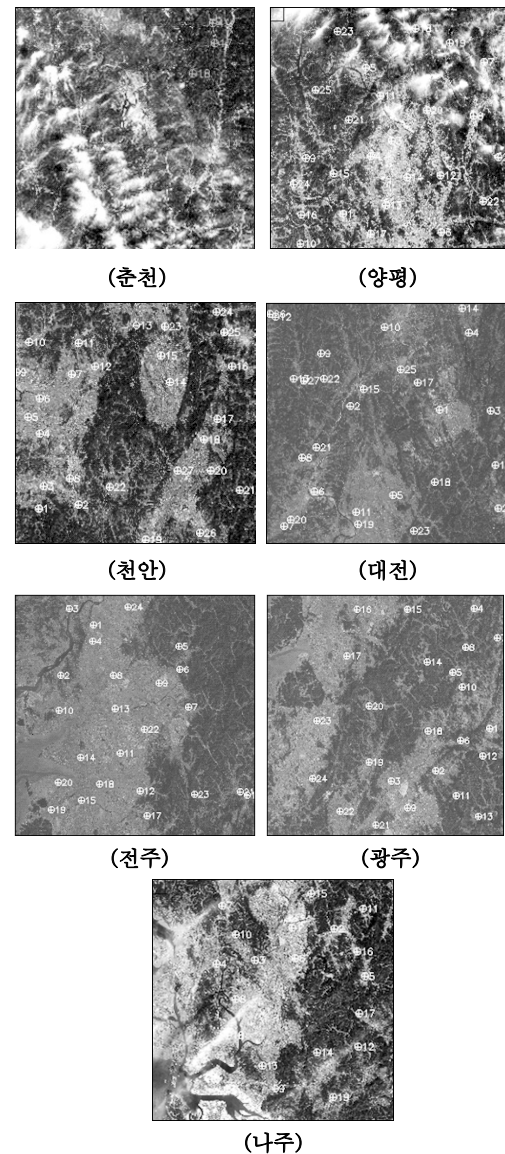
3) 실험에 사용된 미지수 조합

실험에 사용된 미지수는 조합은 인공위성의 위치, 속도, 자세를 표현하는 방정식의 계수 중 일부를 여러 가지 방식으로 조합하여 나타내었다. OA-1모델은 위성의 위치, 위치 변화율, 위치 가속도 항과 자세각을 미지수로 정의한 모델이고 OA-2모델은 Yaw각, Yaw각 변화율 및 Yaw각 가속도항을 미지수로 결정한 모델이다. OA3모델은 위성의 위치정보에만 error가 있고 위성의 자세각에 error가 없다고 가정하고 위성의 위치, 위치 변화율 및 가속도항을 미지수로 결정한 모델이다. OA-4모델은 자세정보에만 error가 있다고 가정한 모델로 회전각 또는 자세각, 변화율 및 가속도항을 미지수로 결정한 모델이다. OA-5모델은 위성의 위치 및 자세각에 존재하는 error가 시간에 대해 변하지 않는 상수항만으로 가정한 모델이다. OA-6모델은 위성 위치의 상수항만 미지수로 가정한 모델이다. OA-7모델은 위성각도의 상수항만을 미지수로 가정한 모델이다.

Table 1. Image parameter of the Spot stereo strip

ID	Left Strip	Right Strip
Satellite	SPOT3	SPOT3
Acquisition Date	4 April 1995	28 Jan 1995
Tilt Angle	+19.8°	-23.4°
No of GCPs	152	149

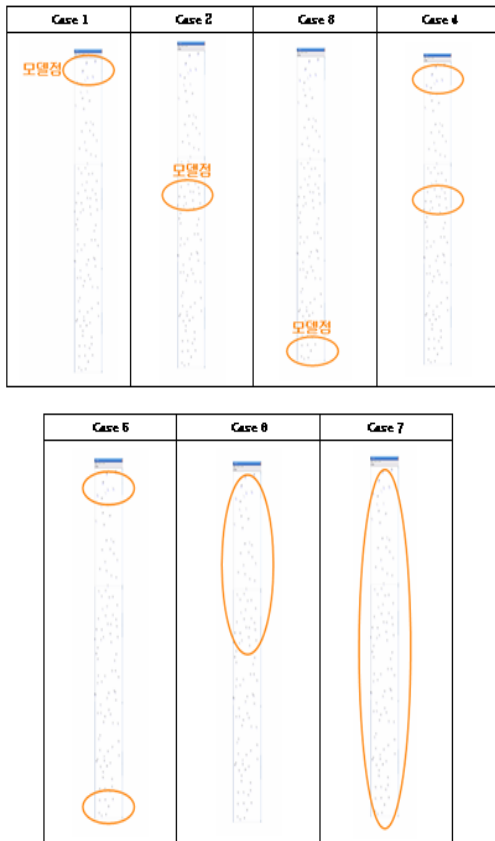
Figure 1. Location of GCPs



4. 실험

실험은 인하대학교 영상공학연구소에서 자체 개발한 궤도기반센서모델이 적용된 Visualization Tool을 이용해서 각 각의 Case에 대해 OA-1에서 OA-7모델 까지 총 7개의 미지수 조합모델로 궤도기반 센서모델링을 적용 후 검사점(모델점을 제외한 나머지 GCP)의 error를 분석해 보았다. 모델점은 각 Case의 경우에 모두 10개로 똑같이 적용하였다. 그 이유는 많은 개수의 모델점을 이용하면 확실히 그 모델링의 정확도는 높아지지만 각 모델에 따른 error의 차이를 보는 것은 용이하지 않기 때문이다. 따라서 분석의 목적상 error의 차이를 더 확실하게 구분하는 것이 본 분석에 효율적 이므로 모델점의 개수를 작게 해서 분석을 실행하였다. 모델점의 위치를 적용하기 위해 사용된 각 각의 Case는 총 7개로 다음과 같이 나타내었다.

Figure 2. Arrangement of Model Points



5. 실험결과

1) CASE-1, 3

실험결과 이 두 CASE는 모델점의 위치만 위, 아래로 바뀌었을 뿐 거의 동일한 조건의 모델임을 알 수가 있다. CASE-1, 3과 같이 모델점을 배치시킨 후 궤도모델링을 적용한 결과 검사점의 error는 OA-5, 6, 7에서 거의 동일하고 정확하게 나타내는 것을 확인할 수가 있다. 김현숙과 김태정(2006)은 궤도기반모델을 적용했을 때 OA-5, 6, 7모델이 다른 네 개의 모델보다 정확하고 안정된 값을 나타내는 것을 검증하였으며, 그 결과를 적용해 모델점의 위치를 CASE-1, 3과 같이 Strip의 양 끝에 배치시킨 후 모델링을 적용한 경우에도 OA-5, 6, 7모델은 높은 정확도를 나타냈다. 그러나 OA-6, 7모델은 약 2pixel의 높은 정확도를 갖는 모델임이 증명이 됐지만 OA-5모델은 다소 불완전한 정확도를 나타내었다. SPOT위성영상에서의 위치-회전각 모델과 궤도-자세각 모델의 비교실험(김현숙과 김태정, 2005)을 보면 궤도기반모델링 후 영상의 RMSE error를 비교했을 때 OA-5모델이 다른 모델들보다 우수함을 나타내는 것을 확인할 수가 있었지만 이번 실험에서는 그 결과가 적용되지 않았다. CASE-2, 3의 RMSE error 결과값을 봤을 때도 OA-5모델의 GCP error가 다소 크게 나타나는 것을 확인할 수가 있다. 이는 위에서 언급한 것과 같이 전체 스트립의 검사점들이 모델점의 영향을 어느 정도 받았기 때문이며, 지금까지 진행된 궤도기반 센서모델의 실험결과를 종합해 봤을 때 그와 같은 결과가 나온 이유는 자세 내삽법의 차이와 스트립의 길이 때문이라고 판단된다. 김현숙과 김태정(2006)은 SPOT위성영상의 센서모델 적용실험에 시간에 대한 2차식을 이용한 위치 내삽법과 추가로 라그랑주 위치 내삽법을 이용해서 실험을 하였는데 약 420km길이의 전체 Strip에 대

해 시간에 대한 2차식을 적용한 경우에는 200km구간을 넘어가면서 GCP error가 점점 커지는 것을 확인할 수가 있으며 라그랑제 위치 내삽법을 이용한 경우에는 전체 구간에 대해 안정된 error값을 나타내는 것을 확인할 수가 있다. 그리고 2005년 실험에서는 180km구간(3장의 SPOT영상을 사용)에서 안정된 값을 나타냈지만, 김현숙과 김태정(2006)은 이 실험결과가 모든 상황에 적용될 수 없음을 증명하였고 이번 실험을 통해 그 증명을 다시 확인할 수가 있었다. 지금까지의 실험결과로 OA-5모델은 약 200km구간에 적용했을 때 효율적이며 그 이상의 거리에 적용했을 때는 다소 정확하지 않은 error값을 갖는다는 것을 알게 됐다. 즉 OA-5모델은 거리가 길어질수록 오차 전파량도 커지기 때문에 위와 같은 결과가 나온 것이다. 이 사실은 아래의 table 2를 확인해보면 쉽게 확인할 수가 있다.

아래의 table 2에서 확인할 수 있듯이 이 실험은 다른 CASE와 비교했을 때 상당히 높은 정확도를 나타냈다. 특히 CASE-7의 RMSE error를 확인해 보면 현재 실험결과 중 제일 높은 정확도를 나타내는 것을 알 수가 있는데 이와 같은 결과가 나온 이유는 모델점의 위치가 전체 검사점의 정확도에 큰 영향을 끼치기 때문이다. 이는 CASE-4, 5, 6의 정확도를 확인해 봐도 확인할 수가 있다. 네 경우의 실험을 종합해 봤을 때 OA-5, 7모델의 정확도가 다른 모델들에 비해 우수하다는 것을 확인할 수가 있다. 특히 OA-5모델은 CASE-1, 3실험에서 설명한 것과 같이 모든 모델점들이 약 200km의 거리 안에서 모델링이 되고 있기 때문에 이렇게 높은 정확도를 나타내는 것이다. 이번 실험에서도 모델점 위치와 상관없이 가장 높은 정확도를 나타내는 미지수 조합 모델은 OA-7모델이다.

2) CASE-4, 5, 6, 7

Table 2. Accuracy of Orbit-based Model

Left Strip							
	OA-1	OA-2	OA-3	OA-4	OA-5	OA-6	OA-7
CASE-1	466.1395	7837.6807	419.5702	1215.9526	2.5009	2.0186	1.5691
CASE-2	466.1394	2579865	954.7639	15943109	4.8613	1.8329	1.4721
CASE-3	244.9526	3189.875	239.0008	1079.6479	7.5897	2.0902	1.6037
CASE-4	15.4231	12.2837	14.1216	17.6124	1.8580	1.8193	1.4237
CASE-5	6.9968	11.0802	10.7459	2.67605	1.2633	1.8675	1.5977
CASE-6	6.1997	6.3774	18.9458	3.74238	1.3980	1.9022	1.5871
CASE-7	3.8497	1.8231	2.0016	1.5722	1.3351	1.885	1.4818

Right Strip							
	OA-1	OA-2	OA-3	OA-4	OA-5	OA-6	OA-7
CASE-1	2295.1267	13649	2839.2098	2.67E+08	20.6358	4.4305	1.5775
CASE-2	307.3980	334.1577	169.0155	185.0730	4.9560	2.7245	1.6245
CASE-3	2163.1154	1041723	1974.8217	1637.0779	3.6070	4.1638	1.5829
CASE-4	29.0634	18.8959	66.9424	20.5622	1.7674	3.0176	1.5770
CASE-5	10.7230	11.3495	8.4187	13.0333	1.8778	2.3917	1.6421
CASE-6	25.4936	57.5568	29.2185	5.2180	2.8949	2.9326	1.5654
CASE-7	5.3541	3.1235	3.0495	2.4647	3.2277	2.3893	2.4121

6. 결 론

모델점의 위치를 각 각 다르게 적용해서 궤도기반 센서모델링을 전체 Strip에 걸쳐 적용한 결과 모델점의 위치와 관계없이 OA-6, 7모델은 높은 정확도를 나타냈다. CASE-7의 경우에는 모든 모델에 대해 높은 정확도를 나타냈지만 이는 실험에 분석으로만 효율적인 정확도를 낸 것뿐이지 현실적으로 생각했을 때 전국적으로 기준점 측량을 해야 하는 번거로움과 경제적으로 유리하지 못하다는 단점을 가지고 있다. 그리고 이 실험을 통해 궤도기반 센서 모델링시 기준영상(모델점의 위치)의 위치에 관계없이 높은 정확도를 가지는 미지수 조합 모델을 선별할 수 있었으며 동일궤도상에서 한 영상에 대해 센서모델을 수립한 후 연속된 영상에 대해 센서모델을 적용하였을 때 각 모델점 위치의 정확성을 확인 할 수 있었다. 그리고 SPOT 위성영상에서의 위치-회전각 모델과 궤도-자세각 모델의 비교실험에서 안정성이 높게 나온 OA-5모델은 이 실험을 통해 스트립의 길이가 길어지면 길어질수록 높은 error를 수반하는 것으로 확인 되어 긴 스트립에 대해 모델링을 할 때에는 OA-5모델은 적합한 모델이 되지 못하는 것을 확인할 수 있었다. 대한민국의 실정에 비추어 봤을 때 약 420km 길이의 지역에 대해 이렇게 높은 정확도의 GCP error를 나타내고 검증한 것은 상당히 놀라운 결과라고 할 수 있겠다. 만약 CASE-3과 같은 모델점 배치를 이용해 남한의 최북단에서 북한 지역에 대해 궤도 모델링을 한다면 약 2pixel이내의 오차로 북한 지역에 대한 좌표를 얻을 수 있을 것이다. 이는 군사적 분야 혹은 지정학적 분야에서 북한을 분석하는데 큰 도움을 줄 수가 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 첨단도시기술개

발사업 - 지능형국토기술혁신 사업과제의 연구비지원(07국토정보C03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 김태정, 김승범, 신동석, 2000, "대표적 위성영상 카메라 모델링 알고리즘들의 비교연구", Journal of the Korean Society of Remote Sensing, 16(1):73-86.
- 김태정, 2005, "선형 푸시브룸 센서모델의 번들조정 정확도 및 외부표정 요소추정 정확도분석", 한국측량학회지, 23(2):137-145.
- 김현숙, 김태정, 2006. 궤도기반센서모델을 이용한 SPOT 위성 궤도모델링 정확도 분석, 한국지형공간정보학회지, 14(4):27-36
- SPOT Image, 1997. "The SPOT Scene Standard Digital Product Format", S4-ST-73-01-SI
- SPOT Image, 2002. "SPOT Satellite Geometry Handbook", S-NT-73-12- SI.
- Kim, T, 2006, "Modeling Satellite Orbital Segments using Orbi-Attitude Models", Korean Journal of Remote Sensing, 22(1):63-73
- Gupta, R. and Hartley, R. 1997. "Linear pushbroom cameras", IEEE Trans. PAMI, 19(9): 963-975
- Jacek, G. and Gene, D. 2003. "Block Adjustment of High-Resolution Satellite Images Described by Rational Polynomials